

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Statická charakteristika proporcionálního sedlového ventilu

Static Characteristic of Proportional Poppet Valve

Student:

Marian Ledvoň

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Adam Bureček, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Marian Ledvoň**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Statická charakteristika proporcionálního sedlového ventilu**
Static Characteristic of Proportional Poppet Valve
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše k problematice měření statických charakteristik sedlových ventilů.
2. Návrh a realizace experimentálního zařízení pro měření statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu.
3. Experimentální měření statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu.
4. Vyhodnocení statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kolektiv autorů. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Příručka hydrauliky, Svazek 3, Mannesmann Rexroth GmbH, RCS 00281/10.88, 1988, 1. vydání. 362 s. ISBN 3-8023-02664.
2. PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vydání. 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
3. PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutiny a mechanizmy*. Praha: SNTL Praha, 1987. 623 s. 04-255-87.
4. DÖRR, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional - und Servoventil - Technik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.
5. BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanizmy*. Žilina: Hydropneutech s.r.o., 2012. 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Adam Bureček, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:15.5.2016.....

.....Marie Klobučná.....

Podpis

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jenom „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15.5. 2016

..... Marian Ledvoň

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Marian Ledvoň

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bezručova 1080,

Frýdlant nad Ostravicí, 739 11

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Adamovi Burečkovi Ph.D. za jeho odborné rady, informace a vedení při zpracování této bakalářské práce. Také děkuji svým blízkým za jejich podporu při studiu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LEDVOŇ, M. *Statická charakteristika proporcionálního sedlového ventilu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 45 s. Vedoucí práce: Bureček, Adam.

Bakalářská práce se zabývá stanovením statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu. Je navržen hydraulický obvod pro stanovení vybraných statických charakteristik. Jsou vybrány vhodné snímače pro měření tlaků, průtoků a teploty. Je popsána metodika stanovení vybraných charakteristik a použití měřicího přístroje MS 5060+. Jsou stanoveny a vyhodnoceny statické charakteristiky proporcionálního sedlového ventilu SP08 – 20A.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

LEDVOŇ, M. *Static Characteristic of Proportional Poppet Valve: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipments, 2016, 45 p. Thesis head: Bureček, Adam.

This bachelor thesis deals with Static Characteristic of Proportional Poppet Valve. Hydraulic circuit for determining static characteristic is designed. There are selected appropriate sensors for measuring pressures, flows and temperature. Methodic of determining static characteristic and using measuring device MS 5060+ is described. Static characteristics of proportional poppet valve SP08 – 20A are determined and evaluated.

Obsah

Seznam použitých značek a veličin.....	9
Úvod.....	10
1. Proporcionální ventily	11
1.1 Proporcionální ventily k řízení průtoku	11
2. Proporcionální řídicí technika	12
2.1 Elektromechanické převodníky	14
2.2 Řídicí elektronika proporcionálních prvků	18
3. Sedlové ventily.....	19
3.1 Ovládání sedlových ventilů	19
4. Charakteristiky ventilů pro řízení průtoku	21
5. Proporcionální sedlový ventil SP08 - 20A.....	23
5.1 Funkce sedlového ventilu SP08 - 20A.....	23
5.2 Charakteristiky ventilu SP08 - 20A	24
6. Návrh a realizace hydraulického obvodu	25
6.1 Hydraulický obvod	25
6.2 Specifikace prvků hydraulického obvodu.....	27
6.3 Zvolené snímače a jejich specifikace.....	30
6.4 Popis měření	32
7. Vyhodnocení naměřených dat.....	34
7.1 Statické $Q - \Delta p$ charakteristiky	34
7.2 Stanovení hystereze	38
8. Závěr	42
9. Seznam použité literatury.....	44

Seznam použitých značek a veličin

Značka	Název veličiny	Jednotka
dFr	Frekvence dynamického mazání	[Hz]
F	Síla	[N]
Hi	Horní ofset	[A]
I	Proud	[A]
Lo	Dolní ofset	[A]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
p	Tlak	[MPa]
Q	Průtok	[dm ³ ·min ⁻¹]
s	Zdvih	[mm]
t	Čas	[s]
to	Teplota oleje	[°C]
U	Napětí	[V]
V_g	Geometrický objem	[cm ³]
ν	Kinematická viskozita	[mm ² ·s ⁻¹]

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá měřením vlastností proporcionálního sedlového ventilu a jeho statickými charakteristikami.

V první části bakalářské práce je zpracována literární rešerše proporcionálních ventilů, proporcionální řídicí techniky, pomocí které jsou proporcionální ventily ovládány, a také sedlových ventilů. Dále je zde popsán proporcionální sedlový ventil SP08 – 20A, na kterém je provedeno měření. Ventil je dvoucestný, elektromagneticky ovládaný, v normální poloze uzavřený. V závěru první části jsou popsány jednotlivé charakteristiky proporcionálních ventilů.

V praktické části je navržen a následně v laboratoři sestaven hydraulický obvod. Také jsou vybrány vhodné snímače tlaků, průtoků a teploty pro měření vybraných statických charakteristik. V laboratoři na sestaveném hydraulickém obvodu jsou provedena měření statických $Q - \Delta p$ charakteristik pro jednotlivá řídicí napětí $U = 1 \div 10$ V a měření pro stanovení hystereze při daném nominálním průtoku ventilem a tlaku na pojistném ventilu. Měření jsou prováděna na měřicím přístroji MS 5060+. Jednotlivá měření jsou zpracována a poté vyhodnocena.

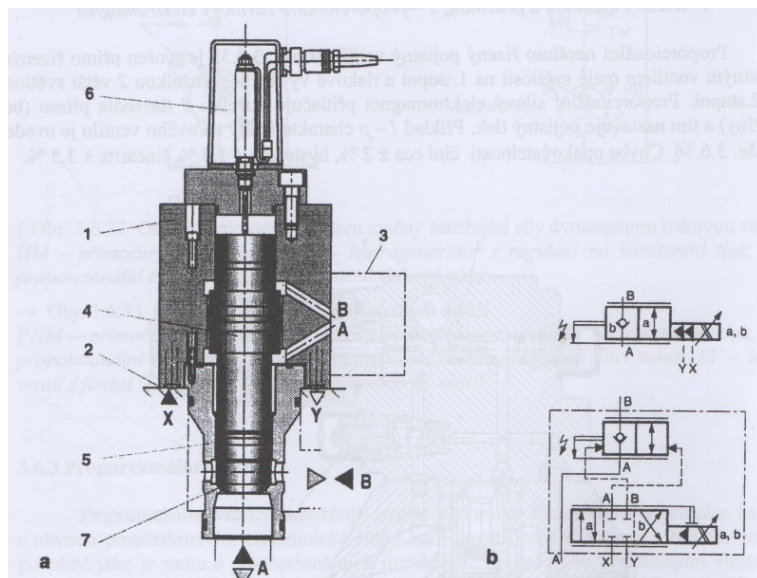
Cílem této bakalářské práce je stanovení a vyhodnocení statických charakteristik na proporcionálním sedlovém ventilu SP08 – 20A od firmy Hydra Force.

1. Proporcionální ventily

Ke spojitému elektrickému řízení tlaku a průtoku se používají proporcionální ventily. Řízení tlaku a průtoku kapaliny v hydraulickém obvodu se provádí podobně jako u proporcionálních rozvaděčů pomocí programu v řídicím počítači nebo prostřednictvím elektronické řídicí karty. Proporcionální ventily se vyznačují podobnými vlastnostmi jako proporcionální rozvaděče. Nemají zcela lineární $I - p$ charakteristiku a také nemají příliš rychlou reakci (doba přestavení při 100 % signálu cca 100 ... 250 ms). U provedení bez zpětné vazby je celková chyba do $\pm 9\%$ celkového rozsahu, u provedení se snímačem polohy je celková chyba 1 - 1,5 % celkového rozsahu. Celková chyba je součet hystereze a opakovatelnosti. Proporcionální ventily se nejvíce používají k přímému řízení se zpětnou vazbou pro náročné aplikace a k přímému řízení bez zpětných vazeb, pro méně náročné aplikace [4].

1.1 Proporcionální ventily k řízení průtoku

Proporcionální ventily k řízení průtoku jsou nejčastěji vyráběny buď jako přesné proporcionální škrtkové ventily, které nejsou závislé na viskozitě, nebo jako přesné proporcionální regulační ventily průtoku s dvoucestným regulátorem průtoku nebo taky jinak nazvanou dvoucestnou tlakovou váhou. Na obr. 1.1 je uveden příklad konstrukce vestavného proporcionálního ventilu k řízení průtoku. Pomocí těchto ventilů se velmi často řídí rozběh i brždění hydromotorů s velkými setrvačnými hmotami a také oscilace pohybů suportů obráběcích strojů. Jejich předností je taky synchronizace rychlosti paralelně zapojených motorů a řízení pohybu různých mechanismů s pozitivní i negativní zátěží, přičemž průběh pohybu nebo jeho rychlost lze vhodně programovat tvarováním elektrického vstupního signálu. Nejprve je v elektronickém zesilovači zesílen vstupní tvarovaný elektrický signál, pomocí kterého vzniká na proporcionálním magnetu ventilu síla F , která je úměrná proudu I . Tato síla mění průřez na škrtkovém prvku ventilu a zároveň se tím mění také velikost průtoku. U těchto ventilů je změna průtoku úměrná pohybové frekvenci hydraulického motoru a zároveň je taky úměrná časovému průběhu vstupního elektrického signálu. K přeměně proudového signálu I na sílu F je zapotřebí prvek, který se nazývá elektromechanický převodník, kterým bývá obvykle proporcionální magnet [1, 4].



Obr. 1.1 Vestavný proporcionální ventil pro řízení průtoku (Rexroth) [4]

a – konstrukční provedení ventilu, b – grafická značka ventilu, nahoře zjednodušeně, dole propojení, 1 – těleso druhého (výkonového) stupně, 3 – řídicí (pilotní ventil), 4 – kuželka druhého stupně, 5 – vestavná část ventilu (pouzdro), 6 – snímač polohy kuželky 2. stupně

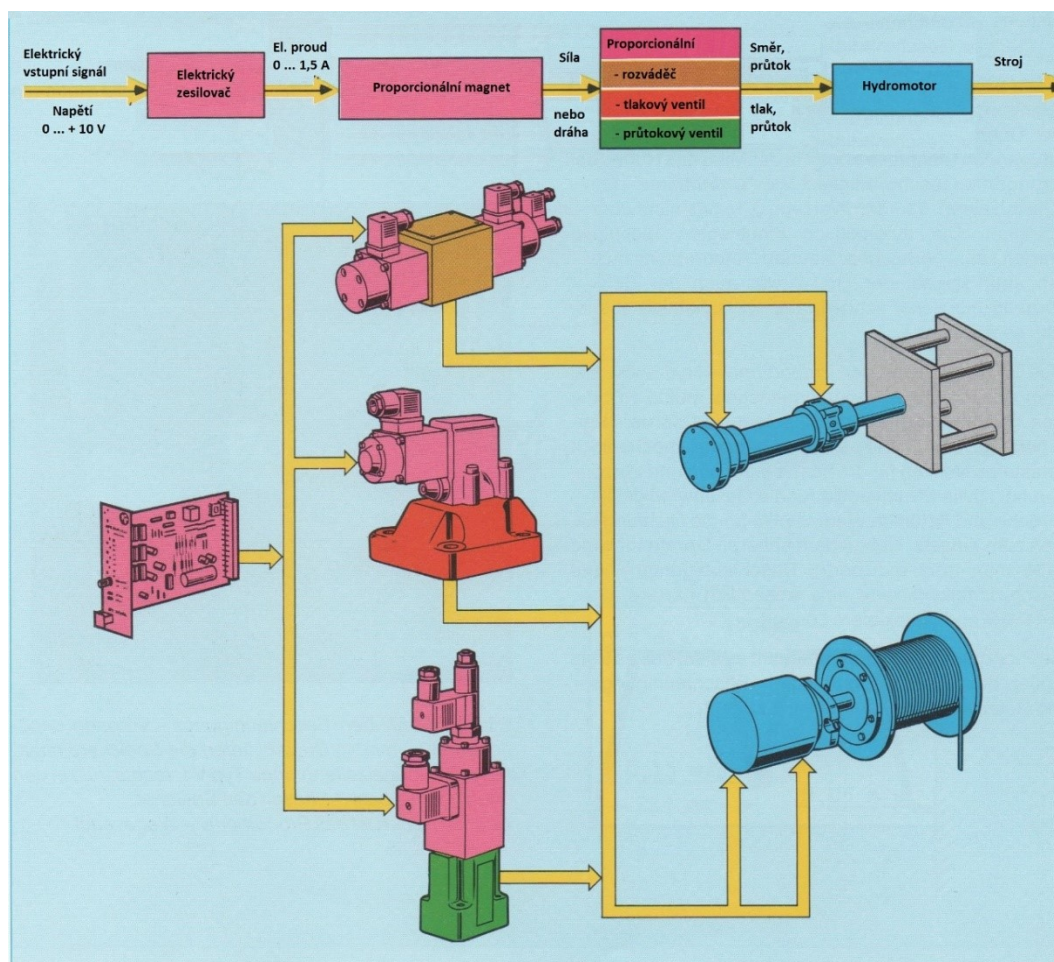
2. Proporcionální řídicí technika

V hydrostatických systémech se může realizovat řídicí technika třemi způsoby. Buď to jako konvenční řídicí technika, dále jako proporcionální řídicí technika, nebo jako servotechnika.

V dnešní době je velmi rozšířená proporcionální řídicí technika z mnoha důvodů. Jeden z hlavních důvodů je, že jsou zde spojeny výhody moderní elektroniky s moderní hydraulikou. Dalším důvodem je určitě to, že zde nejsou tak vysoké nároky na čistotu kapaliny nebo na provoz a údržbu jako u servotechniky. Ale hlavním faktorem proč je proporcionální technika tolik rozšířená, je určitě cena, která se dá považovat za dostupnou ve srovnání se servotechnikou. Servotechnika se ovšem vyznačuje vysokou přesností a rychlostí, což se využívá pro náročná použití v regulačních obvodech nebo servomechanizmech. A proto lze proporcionální techniku považovat za kompromis mezi kvalitou a cenou v porovnání se servotechnikou.

U proporcionální řídicí techniky se využívá prvků, jako jsou například proporcionální tlakové ventily, proporcionální škrtecí ventily nebo proporcionální rozváděče atd. Prvky proporcionální řídicí techniky se vyznačují hlavně tím, že pomocí elektrického signálu malého výkonu lze spojitě řídit tlak a průtok. Tento řídicí signál může mít různý tvar, který lze buď to zadat externě z počítače, nebo na připojené elektronické řídicí kartě. Proporcionální technika se využívá zejména u aplikací, kde už klasická řídicí technika nestačí.

U elektrohydraulických systémů jsou hlavními částmi jak elektrické prvky, pomocí kterých se elektrohydraulický obvod řídí, tak prvky hydraulické, které vykonávají mechanickou část obvodu. Vstupní elektrický signál lze pomocí proporcionálních řídicích prvků plynule měnit na proporcionální výstupní hydraulický signál, viz obr. 2.1 [2, 3, 4].

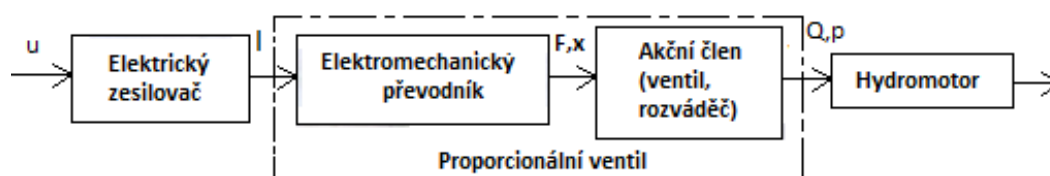


Obr. 2.1 Signál v obvodu s proporcionálními prvky [2]

2.1 Elektromechanické převodníky

Proporcionální technika je tvořena řídicí elektronikou a akčními neboli výkonovými členy, které se od stejných klasických prvků mnoho neliší. Velmi často mají při stejné světlosti prvku stejné připojovací rozměry. Zásadně se liší až v použitém elektromechanickém převodníku. Elektronický zesilovač může být přímo součástí elektromechanického převodníku nebo bývá proveden jako samostatný díl, kterým může být například elektronická karta. Elektromechanický převodník je prvek, který spojuje řídicí elektroniku a mechaniku ventilu. Klasické řídicí prvky obvykle používají jen jeden typ elektromechanického převodníku, a tím je elektromagnet. Proporcionální řídicí prvky používají různé typy elektromechanických převodníků, které využívají rozdílných fyzikálních principů. Mezi elektromechanické převodníky patří proporcionální magnety, lineární motory, krokové motory, momentové motory a elektrodynamické převodníky [4].

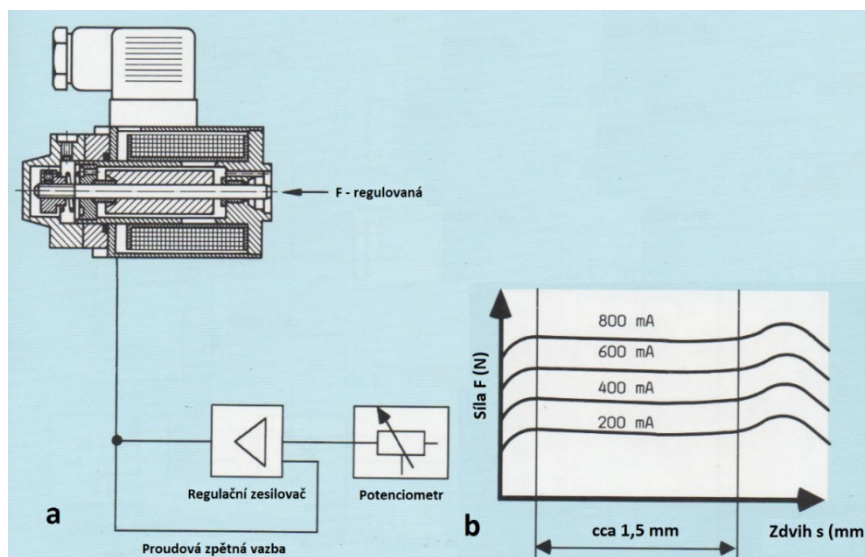
Na obr. 2.2 je znázorněno blokové schéma struktury proporcionálních prvků.



Obr. 2.2 Blokové znázornění struktury proporcionálních prvků [4]

První ze skupin elektromechanických převodníků jsou proporcionální elektromagnety, které se potom ještě dále dělí na dvě skupiny, silové elektromagnety viz obr. 2.3 a zdvihové elektromagnety viz obr. 2.4. Tyto proporcionální elektromagnety se liší ve své konstrukci, díky které vyvozují na kotvě buď dráhu, nebo sílu, která je úměrná elektrickému proudu na cívce. Silové i zdvihové proporcionální elektromagnety jsou napájeny stejnosměrným proudem.

Silový elektromagnet dokáže vyvíjet sílu, která je úměrná elektrickému proudu tekoucí cívkou jen v určitém zdvihu elektromagnetu a to přibližně 1,5 mm. Tento elektromagnet se označuje jako tlačný, což u tohoto elektromagnetu znamená, že se ze své základní polohy vysouvá kotva, která poté působí na připojenou mechanickou součást tlakem [2, 4].

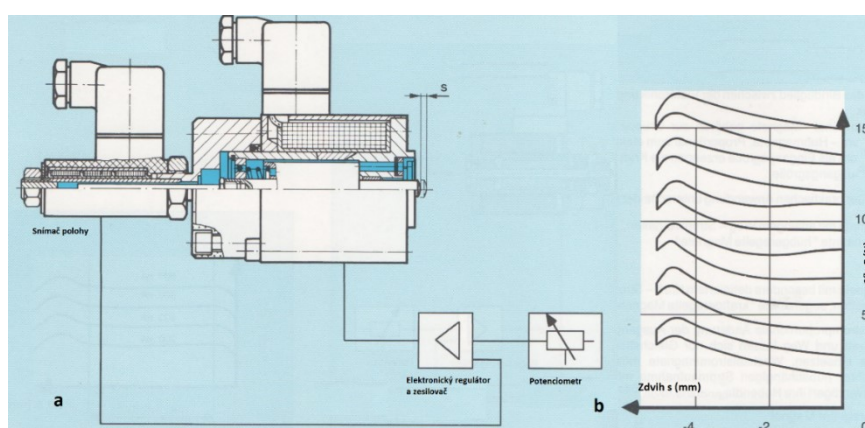


Obr. 2.3 Silový elektromagnet [2]

a – provedení elektromagnetu a schéma zapojení, b – závislost síly na elektrickém signálu

Zdvihový elektromagnet vyvíjí zdvih kotvy, který je přímo úměrný elektrickému proudu, stejně jako u silového elektromagnetu. Zdvih kotvy, který dokáže elektromagnet vyvinout, se obvykle pohybuje v rozsahu 3 až 5 mm. Přesnost dosažené polohy může být ovlivněna proti působící síle. Při použití zpětné polohové vazby lze dosáhnout určitého zpřesnění.

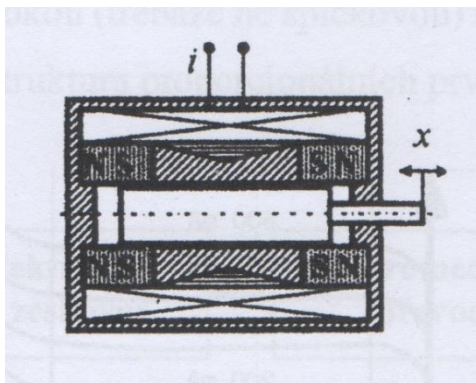
Elektromagnety se provádějí v tzv. “mokřém provedení“, čímž se minimalizují třecí odpory. To znamená, že se netěsní vnitřní prostor elektromagnetu a snímače polohy proti pronikání pracovní kapaliny z kanálu T [2, 4].



Obr. 2.4 Zdvihový elektromagnet [2]

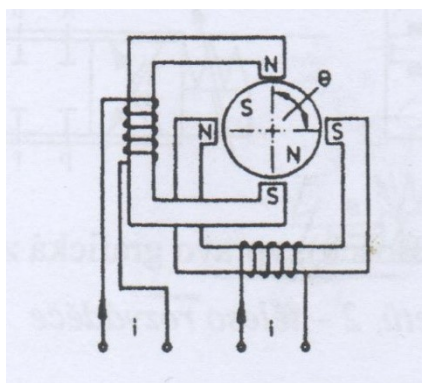
a – provedení elektromagnetu a schéma zapojení, b – závislost síly na elektrickém signálu

Lineární motor, viz obr. 2.5, patří do další skupiny elektromechanických převodníků v proporcionální řídicí technice. U lineárních motorů se kotva v základní poloze nachází uprostřed zdvihu, což je způsobeno uspořádáním permanentních magnetů, kterými jsou lineární motory tvořeny. Kotva se vychýlí ze základní polohy za předpokladu, že cívkou protéká elektrický proud. Podle polaroty proudu se kotva vychýlí buď v jednom, nebo druhém směru. Díky menšímu zdvihu, který bývá přibližně 0,7 až 2,0 mm a větší vyvozené síle, která dosahuje maximální hodnoty do ± 300 N, je lineární motor oproti proporcionálnímu magnetu rychlejší [4].



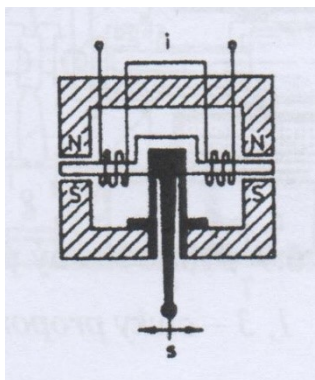
Obr. 2.5 Lineární motor [4]

Krokové motory, viz obr. 2.6, jsou další skupinou elektromechanických převodníků. Krokový motor se u proporcionálních ventilů jako elektromechanický převodník používá jen výjimečně. U krokového motoru je nutný převod rotačního pohybu rotoru na přímočarý pohyb šoupátka a to je nevýhoda krokových motorů, díky které nejsou tolik rozšířené. Krokové motory se řídí impulzivně, digitálně, čímž se zajišťuje vysoká přesnost a opakovatelnost polohování. Zvýšené přesnosti a plynulosti pohybu lze dosáhnout tzv. mikrokrokováním, kterým se však, ale sníží rychlost [4].



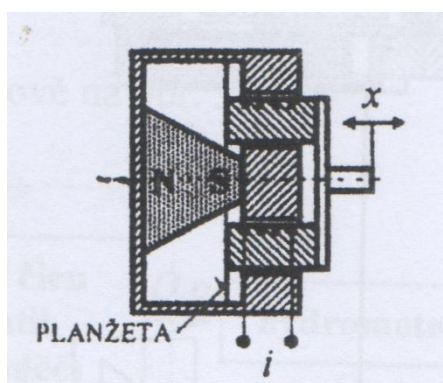
Obr. 2.6 Krokový motor [4]

Momentový motor viz obr. 2.7, označován také jako "torque motor" patří mezi nejrychlejší elektromechanické převodníky. Jeho vlastní frekvence dosahuje 100 až 500 Hz, výjimečně i více. Momentový motor je tvořen kotvou z feromagnetického materiálu a dvěma cívkami, které vytvoří z kotvy při průtoku elektrického proudu elektromagnet. K pólovým nástavcům permanentního magnetu jsou přitahovány póly kotvy a je tak vytvořen moment, který vychýlí kotvu z původní polohy. Na pružném závěsu, na který navazuje klapka, je tato kotva uchycena. Klapka se poté vychyluje z původní polohy o úhel α [4].



Obr. 2.7 Momentový motor [4]

Elektrodynamický převodník viz obr. 2.8, označován také jako "voice coil drive", je poslední skupinou elektromechanických převodníků. Princip, na kterém pracuje elektrodynamický převodník, je cívka reproduktoru, která se pohybuje v magnetickém poli permanentních magnetů. Pružina drží cívku v základní poloze, ze které se vychyluje úměrně velikosti a směru elektrického proudu, který cívkou protéká. Doba přestavení kotvy odpovídá hodnotám typické pro servoventily, která je cca 3,5 ms [4].



Obr. 2.8 Elektrodynamický převodník [4]

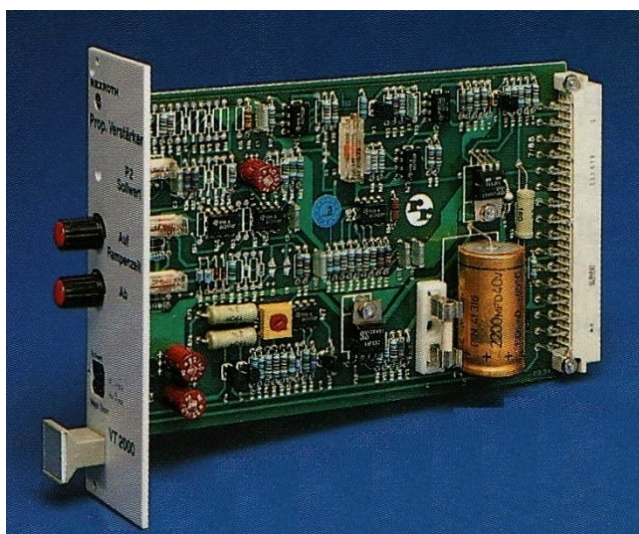
2.2 Řídicí elektronika proporcionálních prvků

K zadávání a úpravě vstupního signálu se používá řídicí elektronika, kterou tvoří dvě základní části. První částí je zařízení, pomocí kterého se zadává žádaná hodnota a druhou částí je elektrický zesilovač, který vstupní signál upraví a zesílí.

K tomu, aby mohly být provozovány proporcionální řídicí prvky, jsou potřeba speciální elektrické zesilovače. Tyto zesilovače se vyrábějí podle potřebných funkcí a požadavků v následujících provedeních. Jednoduchý zesilovač bez regulace polohy se nazývá aktivní konektor. Tento zesilovač se používá především u mobilních strojů, kde je přímo namontovaný do konektorů magnetu.

Dalším je zesilovač v ochranném pouzdře. Toto provedení zesilovače se využívá hlavně v mobilní technice, jelikož je umístěný ve vodotěsném pouzdře s konektorem, které odolá nárazům a vibracím.

Nejčastěji se využívají řídicí karty, viz obr. 2.9, které mají formu normalizovaných karet evropského formátu se zásuvnými kontakty, které jsou značené čísly 1 až 32 a malými písmeny. Používají se obvykle ve spínacích a rozvodných skříních [2, 3].



Obr. 2.9 Řídicí elektronická karta [2]

3. Sedlové ventily

Základním funkčním prvkem těchto ventilů je buď kulička, nebo kuželka. Funkční prvek je zde pružinou přitlačován do sedla, které je součástí tělesa ventilu, a tím zajišťuje hrazení průtoku. Kulička případně kuželka je ze sedla zvedána pomocí elektromagnetu, pomocným pístem apod. Tyto ventily jsou vhodné pro vysoké a nejvyšší tlaky, které dosahují až 100 MPa. Sedlové ventily mohou být ovládané buď mechanicky, nebo elektronicky. Sedlové ventily jsou podobné zpětným klapkám tím, že těsnicí prvek je sedlo, ale jsou ovládány mechanickými nebo elektrickými prostředky [7, 10].

Výhody a nevýhody jsou uvedeny v porovnání se šoupátkovými ventily.

Výhody:

- Téměř absolutní těsnost v uzavřené poloze
- Rychlý a konzistentní čas odezvy, který je až 15 ms

Nevýhody:

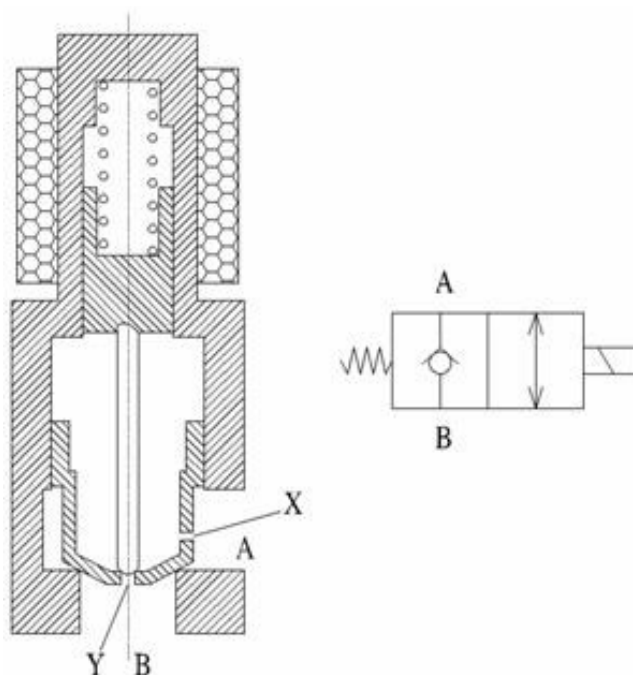
- Prakticky nemožné dosáhnout axiální tlakové rovnováhy
- Může být potřebná značná síla pro nadzvednutí kuželky proti proudu při vysokém tlaku, což omezuje ventily, které mají přímé mechanické ovládání
- Obvykle jsou nutná jednotlivá sedla pro každou průtokovou cestu, což výrazně zvyšuje složitost vícecestných ventilů

3.1 Ovládání sedlových ventilů

Mechanické ovládání sedlových ventilů se převážně používá na lisech a obráběcích strojích, kde často tvoří součást vyhrazeného kontrolního mechanismu.

Elektrohydraulicky ovládané dvoucestné sedlové ventily jsou k dispozici buď jako normálně otevřené nebo normálně uzavřené. U některých malých modelů, které jsou primárně určené pro použití jako pilotní ventily, je kuželka ovládaná přímo elektromagnetem. Používají se jako řídicí část dvoustupňových ventilů, které jsou v podstatě pilotní ovládané zpětné ventily.

U elektrohydraulicky řízeného, dvoucestného, normálně uzavřeného sedlového ventilu lze vidět na obr 3.1, že tlak v kanálu A působí na zadní stranu kuželky přes malý otvor (X) v boční stěně. Tlak udržuje kuželku v uzavřené poloze na způsob zpětného ventilu. Elektromagnet zvedne píst a tím odblokuje otvor (Y) ve středu kuželky. Dochází k tomu, že kuželka se nadzvedne a umožní průtok ventilem z A do B. Po celou dobu je píst obklopen hydraulickou kapalinou a tím je i vyvážený. Dosažení relativně neomezeného zpětného průtoku z B do A je možné, pokud je elektromagnet napájen. Ventil se chová jako normální zpětný ventil s pouze malou tlakovou ztrátou potřebnou k překonání předpětí pružiny [7, 9].



Obr. 3.1 Provedení sedlového ventilu a symbol značení [7]

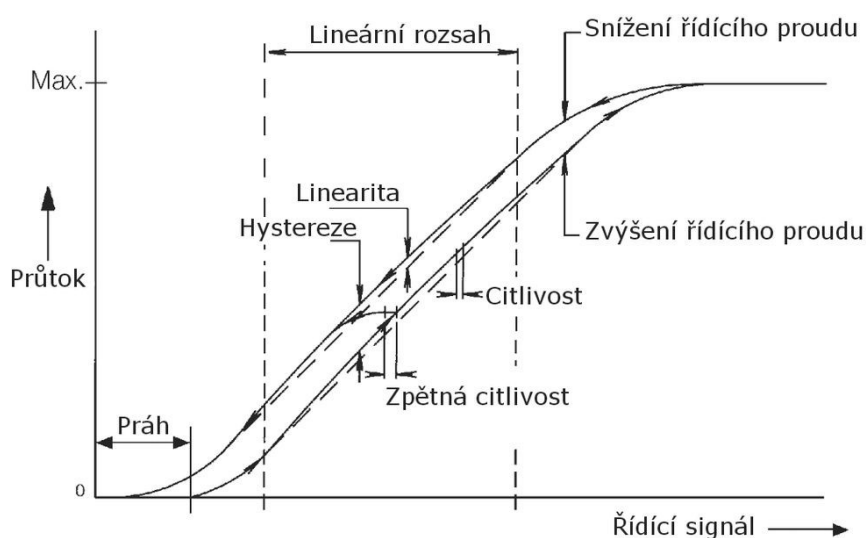
Možné aplikace ventilu jsou podobné těm jako pro zpětný ventil např. blokování válce. Vhodné jsou pro použití u aplikací, které vyžadují rychlou odezvu s vysokým průtokem.

Podle normy ČSN ISO 1219 se nerozlišuje značení šoupátkových a sedlových ventilů u hydraulických schémat. V praxi je však vhodné pro rychlejší orientaci v hydraulických schématech označit uzavírací prvek jako jednosměrný ventil [10, 7].

4. Charakteristiky ventilů pro řízení průtoku

Závislost mezi vstupním elektrickým signálem a hydraulickým výstupním signálem, kterým je průtok Q , se vyjadřuje pomocí charakteristik. Nejideálnější závislost je přesně lineární, to znamená, že charakteristiku tvoří přímka. Charakteristiky nebývají vždy přesně lineární, ale jsou obvykle trochu zakřivené. K dosažení přesnějších výsledků charakteristik se využívá jen menší rozsah signálu. U proporcionálních prvků jsou jejich vlastnosti popsány několika parametry.

Na obr. 4.1 jsou znázorněny průtokové charakteristiky ventilů v grafu průtoku v závislosti na řídicím signálu [3].

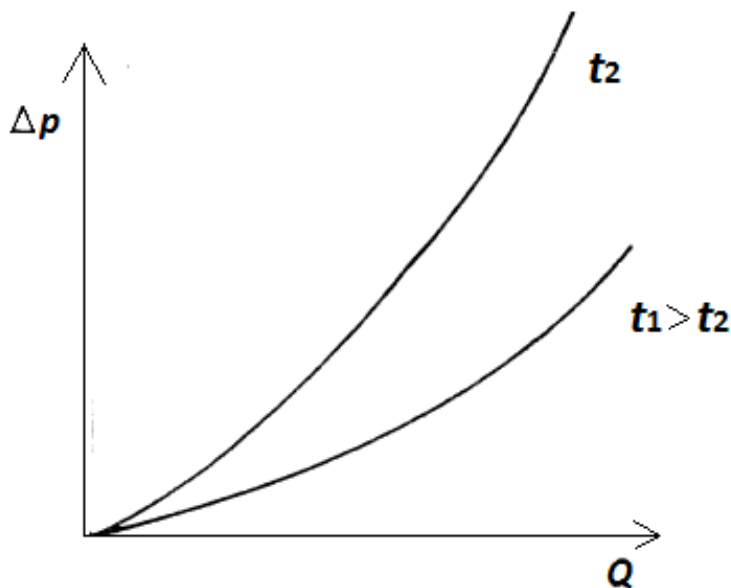


Obr. 4.1 Průtokové charakteristiky ventilů k řízení průtoku [8]

- **Hystereze** - popisuje největší rozdíl v měření při stejném vstupním elektrickém signálu v závislosti na tom, zda se vstupní signál zvyšuje nebo snižuje. U všech ventilů je hystereze založená na maximálním průtoku ventilů a vyjadřuje se v procentech.
- **Linearita** – v grafu lze vidět, že spodní a horní pozice se mírně odchyluje od přímého vedení, kde ventil optimálně reguluje průtok. Z tohoto důvodu je nutné pečlivě vybrat ventil, který reguluje požadovaný průtok právě v této lineární oblasti, aby bylo dosaženo co největší přesnosti.

- **Citlivost** – požadovaný rozdíl vstupního elektrického signálu, aby bylo dosaženo viditelné změny ve stejném směru jako v předchozím pohybu. Citlivost ventilů je založená na maximální hodnotě elektrického vstupního signálu a je určena v procentech.
- **Reverzní citlivost** – požadovaný rozdíl vstupního elektrického signálu, aby bylo dosaženo viditelné změny průtoku, kterou ventil provede v opačném směru, než byl předchozí pohyb.
- **Opakovatelnost** – i přesto, že je ventil po určitou dobu používán při stejných pracovních podmínkách, jako jsou teplota, tlak, vstupní elektrický signál, pracovní kapalina atd., tak se mohou projevit menší odchylky průtoku [3, 8].

U ventilů, které slouží k řízení průtoku, se také zjišťuje závislost tlakové ztráty na průtoku ventilem. Tahle závislost se zjišťuje měřením $\Delta p - Q$ charakteristiky ventilu. U této charakteristiky se měří tlak před a za ventilem a průtok přes ventil. Tlaková ztráta je rozdíl tlaku před a za ventilem. Protože tlakové ztráty závisí na viskozitě kapaliny, provádí se při různých teplotách, viz obr. 4.2, nejčastěji v rozmezí 20 až 60 °C. Tato charakteristika se také zjišťuje např. u rozváděčů, jednosměrných ventilů, hydraulických zámků, hadic, potrubí apod. [5].



Obr. 4.2 Statická charakteristika $\Delta p - Q$ ventilů pro řízení průtoku při různých teplotách
[5]

5. Proporcionální sedlový ventil SP08 - 20A

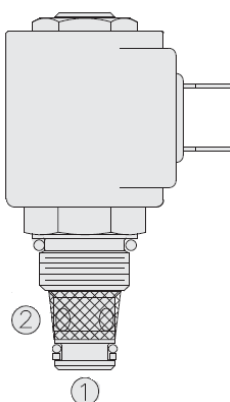
Proporcionální sedlový ventil SP08 – 20A je ovládaný elektromagneticky, dvoucestný a v normální poloze uzavřený, viz obr. 5.1.



Obr. 5.1 Fotografie proporcionálního sedlového ventilu SP08 – 20A

5.1 Funkce sedlového ventilu SP08 - 20A

Po přerušení napájení ventilu SP08 - 20A funguje jako zpětný ventil, který umožňuje průtok z 1 do 2 a blokuje průtok z 2 do 1. Po zapnutí napájení je otevřen průtok z 2 do 1. Směr průtoku ventilem lze vidět na obr. 5.2. Průtok je úměrný proudu, který je přivedený na cívku [6].



Obr. 5.2 Směr průtoku proporcionálním sedlovým ventil SP08 – 20A [6]

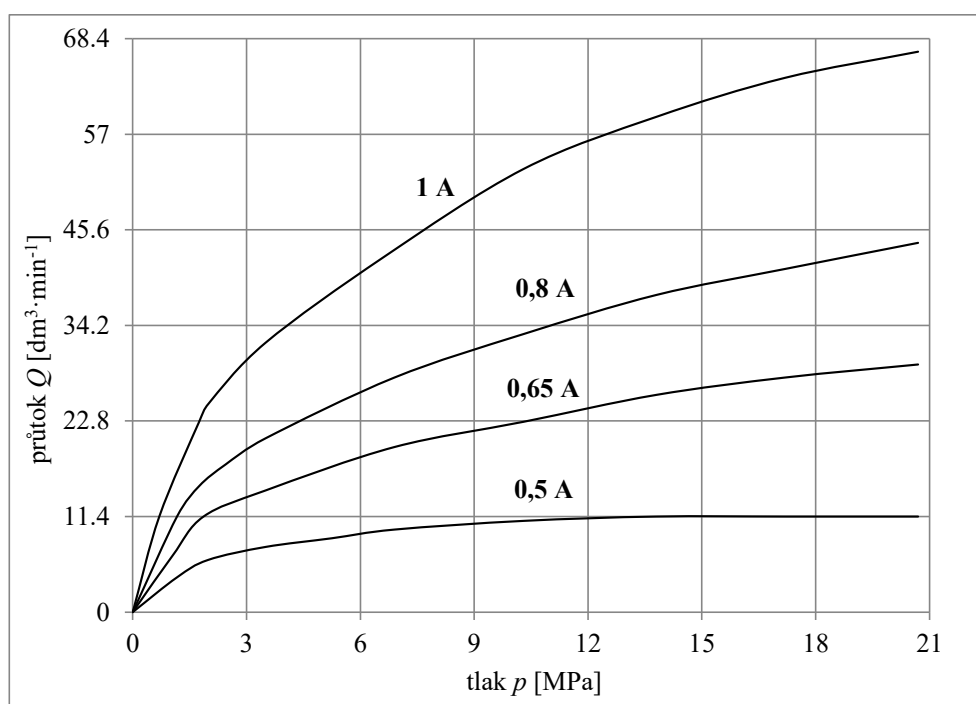
Ve specifikaci ventilu je uvedena pracovní kapalina na minerální bázi nebo syntetiky s mazací schopností při viskozitě $\nu = 7,4 - 420 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. V tab. 5.1 jsou uvedeny hlavní technické parametry popisovaného ventilu [6].

Tab. 5.1 Technické parametry ventilu SP08 – 20A [6]

Provozní tlak	20,7 MPa
Průtok	$30,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Minimální frekvence dynamického mazání	70 Hz
Hystereze	méně než 5 % při I_{max} až do 85 %
	méně než 10 % při I_{max} nad 85 %
Max. vnitřní netěsnosti	5 kapek/min při tlaku 20,7 MPa
Provozní teplota	-40 až 100 °C se standardním Buna N těsněním

5.2 Charakteristiky ventilu SP08 - 20A

Charakteristiky ventilu byly uvedeny v katalogových listech proporcionálního sedlového ventilu SP08-20A. Na obr. 5.3 je graf $Q - \Delta p$ charakteristiky při různých vstupních řídicích signálech.



Obr 5.3 Statické $Q - \Delta p$ charakteristiky sedlového ventilu SP08 – 20A pro různé vstupní řídicí signály [6]

6. Návrh a realizace hydraulického obvodu

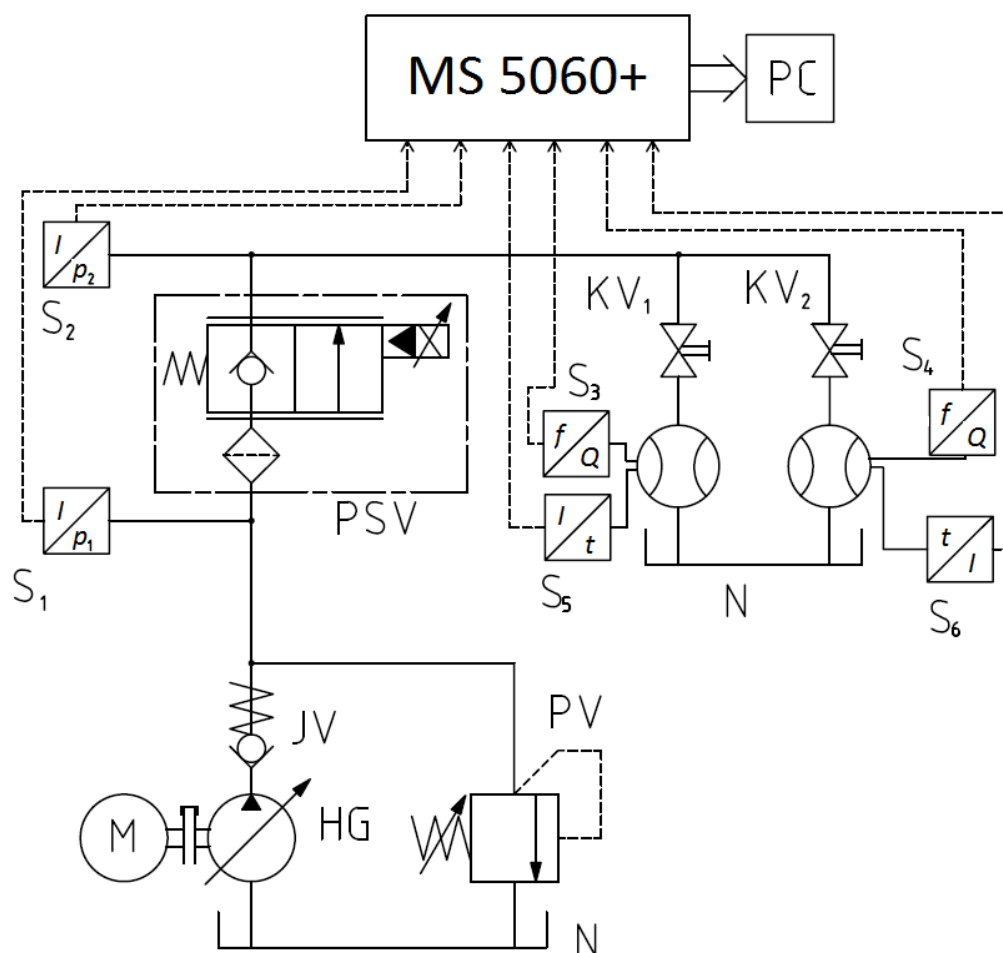
Pro měření na proporcionálním sedlovém ventilu k bakalářské práci byl navržen hydraulický obvod. Obvod byl navržen také včetně jednotlivých snímačů tlaků, průtoků a teploty.

6.1 Hydraulický obvod

Hydraulický obvod pro měření statických charakteristik byl sestaven podle schématu hydraulického obvodu, viz obr. 6.1. Hydrogenerátor HG, který nasává pracovní kapalinu z nádrže N, je poháněný elektromotorem M. Za hydrogenerátorem je zařazen jednosměrný ventil JV, který chrání hydrogenerátor. Celý hydraulický obvod chrání pojistný ventil PV, který je umístěn paralelně za hydrogenerátorem. Pro stanovení statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu PSV je nutné změřit jednotlivé veličiny. Tlak před ventilem p_1 je měřen snímačem S_1 a tlak za ventilem p_2 snímačem S_2 . Za ventilem jsou také umístěny dva paralelně zapojené průtokoměry. Při měření s průtokem do $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ je do obvodu zařazen průtokoměr se snímačem průtoku S_3 a při průtoku nad $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ průtokoměr se snímačem S_4 . Jednotlivé průtokoměry jsou do obvodu připojeny pomocí kulových ventilů KV_1 a KV_2 . Teplota oleje t_o je měřena pomocí snímačů S_5 a S_6 , které jsou připojeny k jednotlivým průtokoměrům.

K měření byl použit měřicí přístroj Hydrotechnik MS 5060+, ke kterému byly připojeny všechny snímače. Snímače tlaku a teploty byly připojeny na analogový vstup měřicího přístroje a snímače průtoku byly připojeny na frekvenční vstup měřicího přístroje.

Pro stanovení $Q - \Delta p$ charakteristik byly provedeny dva způsoby měření. Při prvním způsobu měření byly hodnoty odečítány z displeje měřicího přístroje a zapisovány do tabulek. U druhého způsobu bylo provedeno měření se záznamem do paměti a hodnoty byly odečteny ze záznamu. Při měření pro stanovení hystereze byly jednotlivé měření ukládány do paměti měřicího přístroje a poté přeneseny do počítače.

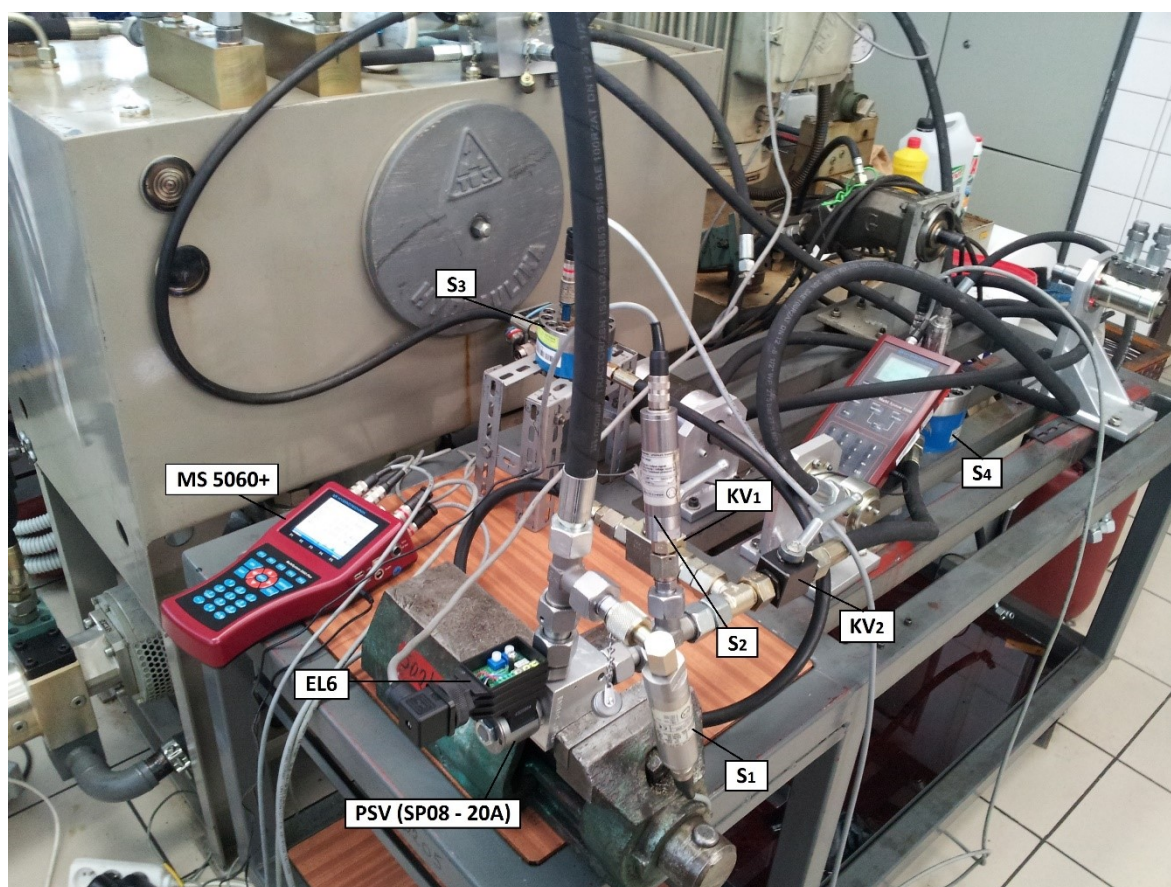


Obr. 6.1. Schéma hydraulického obvodu pro stanovení statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu

Měřené veličiny:

1. Tlak před ventilem p_1 měřený snímačem S_1
2. Tlak za ventilem p_2 měřený snímačem S_2
3. Průtok za ventilem Q měřený snímači S_3 a S_4
4. Teplota oleje t_0 měřená snímači S_5 a S_6

Na obr. 6.2 je popsán hydraulický obvod pro stanovení statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu SP08 – 20A.



Obr. 6.2 Fotografie hydraulického obvodu

6.2 Specifikace prvků hydraulického obvodu

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| • hydrogenerátor HG: | PPAR 2 - 63 |
| • elektromotor M: | $n = 1460 \text{ min}^{-1}$ |
| • pojistný ventil PV: | ARAM-20/350 (ATOS) |
| • jednosměrný ventil JV: | |
| • proporcionální sedlový ventil PSV: | SP08-20A (HydraForce) |
| • měřicí přístroj: | Hydrotechnik MS 5060+ |
| • nádrž N: | s minerálním olejem VG 46 |
| • kulové ventily KV1,KV2 | |

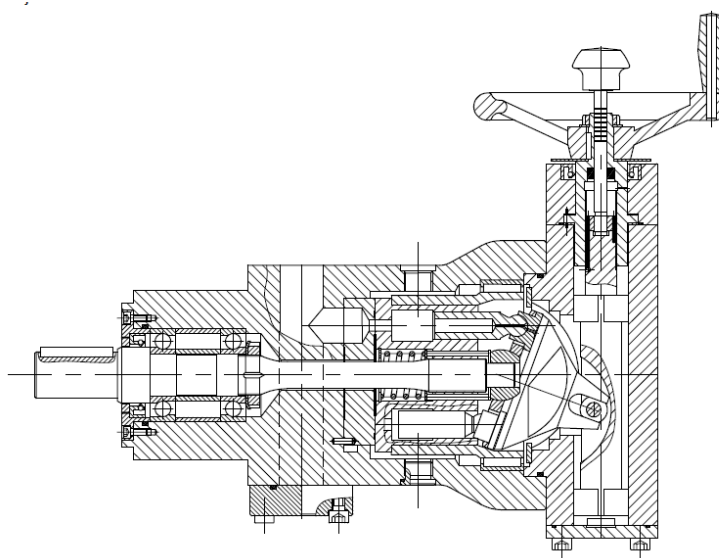
Axiální pístový hydrogenerátor PPAR2 – 63

- Axiální pístový generátor s ručním řízením
- Provedení se šikmou deskou
- Kluzátková konstrukce
- Samonasávací
- Hliníkové těleso
- Vysoký výkon na jednotku hmotnosti

Nastavení velikosti geometrického objemu se provádí pomocí ručního kola. Přestavení se provádí ručně otáčením ručního kola a je proveditelné i za provozu hydrogenerátoru. Pomocí přestavného mechanismu lze zajistit plynulou změnu geometrického objemu od minima do maxima. Řez axiálním čerpadlem lze vidět na obr. 6.3. V tabulce 6.1 jsou uvedeny hlavní technické parametry axiálního pístového čerpadla [11].

Tab. 6.1 Technické parametry PPAR2 – 63 [11]

Geometrický objem	V_g	$0 \div 51,22 \text{ cm}^3$
Jmenovitý tlak	p_n	25 MPa
Jmenovitý průtok	Q_n	$63 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Max. otáčky	n_{max}	2600 min^{-1}



Obr. 6.3 Axiální pístové čerpadlo s nakloněnou deskou a ručním řízením PPAR2 – 63 [11]

Elektronika pro řízení proporcionálních ventilů EL6 (Argo Hytos)

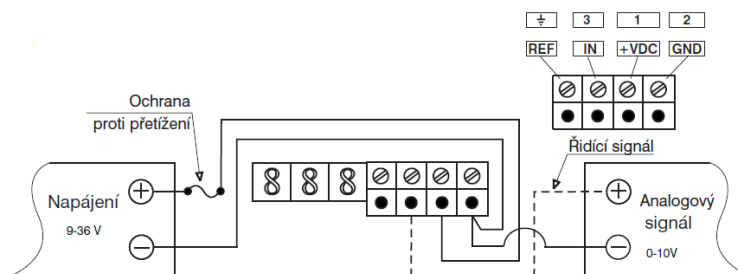
K ovládání proporcionálních ventilů s jedním ovládacím elektromagnetem se používá řídicí elektronika EL6 viz obr. 6.4. Velkou výhodou této řídicí elektroniky je její malé provedení. Elektronika obsahuje dva otočné selektory, svorkovnice, pomocí kterých se připojí vodiče napájení a řízení a LED displej na vrchní ploše elektroniky. Selektor označený “SELECT”, slouží pro výběr parametrů elektroniky. Druhý selektor, označený “ADJUST”, slouží pro nastavení požadované hodnoty. Technické parametry řídicí elektroniky jsou uvedeny v tab. 6.2. Na obr. 6.5 je uvedeno schéma zapojení elektroniky při řízení externím analogovým signálem $U = 0 \div 10 \text{ V}$ [12].



Obr. 6.4 Řídicí elektronika EL6 pro řízení proporcionálních ventilů [12]

Tab. 6.2 Technické parametry elektroniky EL6 [12]

Napětí zdroje	$(9 \div 36) \text{ VDC}$
Maximální výstupní proud	3,00 A
Vstupní řídicí signál	$(0 \div 10) \text{ V}$
Max. čas náběhu/sestupu rampové funkce	99,5 s
Rozsah frekvence dynamického mazání	$40 \div 450 \text{ Hz}$
Linearita	1%
Provozní teplota	$(- 40 \div 75) ^\circ\text{C}$



Obr. 6.5 Zapojení elektroniky pro řízení externím analogovým signálem $U = 0 \div 10 \text{ V}$ [12]

6.3 Zvolené snímače a jejich specifikace

Snímače pro měření tlaku

Pro měření tlaků p_1 a p_2 byly zvoleny snímače PR15 od firmy Hydrotechnik s analogovým výstupním signálem viz obr. 6.6. K připojení tlakových snímačů byly použity MINIMES přípojky, pomocí kterých lze snímače snadno připojit i pod tlakem. Tyto tlakové snímače mají velmi rychlou dobu odezvy ≥ 1 ms, velmi nízké protihlukové vlastnosti a optimalizovanou přesnost. Technické parametry tlakových snímačů jsou uvedeny v tab. 6.3 [13].



Obr. 6.6 Tlakový snímač Hydrotechnik PR15 [13]

Tab. 6.3 Technické parametry tlakových snímačů Hydrotechnik PR15 [13]

Princip měření	piezorezistivní
Rozsah měření	(0 ÷ 40) MPa
Výstupní signál	(4 ÷ 20) mA
Elektrický měřicí konektor	5 – pólový konektor zařízení
Mechanické připojení	závit ISO 228 - G ¼ vnitřní závit
Materiál těsnění	FMK (tlaková měřicí buňka)
Typ ochrany	IP 40
Materiál tělesa	1.4140, 1.4301
Membránový materiál	1.4435
Utahovací moment	40 Nm (± 5 Nm)

Snímače pro měření průtoku

Pro měření průtoku Q byly zvoleny zubové průtokoměry od firmy Hydrotechnik s frekvenčním výstupním signálem. Pro měření průtoku do $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ byl zvolen průtokoměr GFM 5 a pro měření průtoku nad $Q = 5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ byl zvolen průtokoměr GFM 70. Průtokoměr GFM 5 byl zvolen z důvodů zvýšení přesnosti měření při malém průtoku. Oba průtokoměry obsahují MINIMES přípojku pro připojení tlakových snímačů a teplotní jímku, pomocí které lze připojit snímače teploty. Průtokoměry mají společné technické parametry uvedené v tab. 6.4. Technické parametry jednotlivých průtokoměrů jsou uvedeny zvlášť, pro GFM 5 v tab. 6.5 a pro GFM 70 v tab. 6.6.

Tab. 6.4 Společné technické parametry zvolených průtokoměrů [13]

Princip měření	posunutí
Rozsah viskozity	$(10 \div 500) \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Teplota média	$(-20 \div 120) ^\circ\text{C}$
Teplota okolí	max. $80 ^\circ\text{C}$
Napájecí napětí U_b	$(12 \div 24) \text{ VDC}$
Elektrický měřicí konektor	5 – pólový konektor zařízení
Materiál pláště víka	1.4305
Materiál ozubeného kola	1.7131
Materiál těsnění	FMK (tlaková měřicí buňka)

Zubový průtokoměr GFM 5

Tab. 6.5 Technické parametry průtokoměru GFM 5 [13]

Rozsah měření	$(0,05 \div 5) \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Přesnost měření	$\pm 0,5 \%$
Geometrický objem	$0,191 \text{ cm}^3$
Přípustný provozní tlak	63 MPa

Zubový průtokoměr GFM 70

Tab. 6.6 Technické parametry průtokoměru GFM 70 [13]

Rozsah měření	$(0,7 \div 70) \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Přesnost měření	$\pm 0,4 \%$
Geometrický objem	$2,222 \text{ cm}^3$
Přípustný provozní tlak	42 MPa

6.4 Popis měření

Před samotným měřením je potřeba připravit hydraulický obvod pro stanovení statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu podle schématu na obr. 6.1. Připojit jednotlivé snímače a nastavit řídicí elektroniku ventilu. Po připojení všech snímačů do obvodu pomocí MINIMES přípojek je potřeba postupně jednotlivé snímače nastavit na měřicím přístroji Hydrotechnik MS 5060+. K ovládání ventilu je potřeba nastavit řídicí elektroniku ventilu. Na řídicí elektronice se musí nastavit horní offset, dolní offset a frekvence dynamického mazání. Nastavení elektroniky se provádí pomocí otáčení dvou selektorů. Nejprve se otáčením selektoru s označením SELECT vybere parametr, který je potřeba nastavit a poté otáčením selektoru s označením ADJUST se nastaví požadovaná hodnota. Parametry elektroniky byly nastavené na hodnoty uvedené v tab. 6.7.

Tab. 6.7 Tabulka nastavení parametrů řídicí elektroniky ventilu

Parametr	Zkratka na displeji	Nastavená hodnota
Horní offset	<i>Hi</i>	0,97 A
Dolní offset	<i>Lo</i>	0,14 A
Frekvence dynamického mazání	<i>dFr</i>	140 Hz

Postup měření $Q - \Delta p$ charakteristiky – odečítání hodnot z displeje měřicího přístroje

1. Zapne se axiální hydrogenerátor HG a na pojistném ventilu PV se nastaví tlak $p_{PV} = 15$ MPa. Průtok hydrogenerátoru se sníží na minimum a na řídicí elektronice se nastaví vstupní signál $U = 1$ V.
2. Postupně se zvyšuje ručním kolem na hydrogenerátoru geometrický objem V_g a tím se zvyšuje průtok. Po každém zvýšení průtoku se zvýší také tlak před i za ventilem. Po ustálení měřených hodnot jsou z displeje měřicího přístroje odečteny hodnoty tlaků před i za ventilem, průtoku a teploty pracovní kapaliny. Měření se opakovaně provádí postupně pro napětí $U = 1 \div 10$ V, přičemž se zvyšuje napětí vždy o 1 V.
3. Naměřené veličiny se zapisují do předem připravených tabulek a poté se zpracují a vyhodnotí.

Postup měření $Q - \Delta p$ charakteristiky – odečítání hodnot ze záznamu měření

1. Průtok hydrogenerátoru se pomocí ručního kola sníží na minimum a na řídicí elektronice se nastaví vstupní napětí $U = 1 \text{ V}$. Na měřicím přístroji MS 5060+ se nastaví měření s ukládáním do paměti s intervalem snímání 1 ms.
2. Spustí se měření a postupně se zvyšuje ručním kolem na hydrogenerátoru průtok. Po ustálení měřených hodnot se opět ručním kolem zvýší průtok. Měření se provádí jako v předešlém měření postupně pro napětí $U = 1 \div 10 \text{ V}$ se zvyšováním napětí vždy o 1 V.
3. Naměřené data se převedou do počítače pomocí flash disku, kde jsou následně zpracována a vyhodnocena.

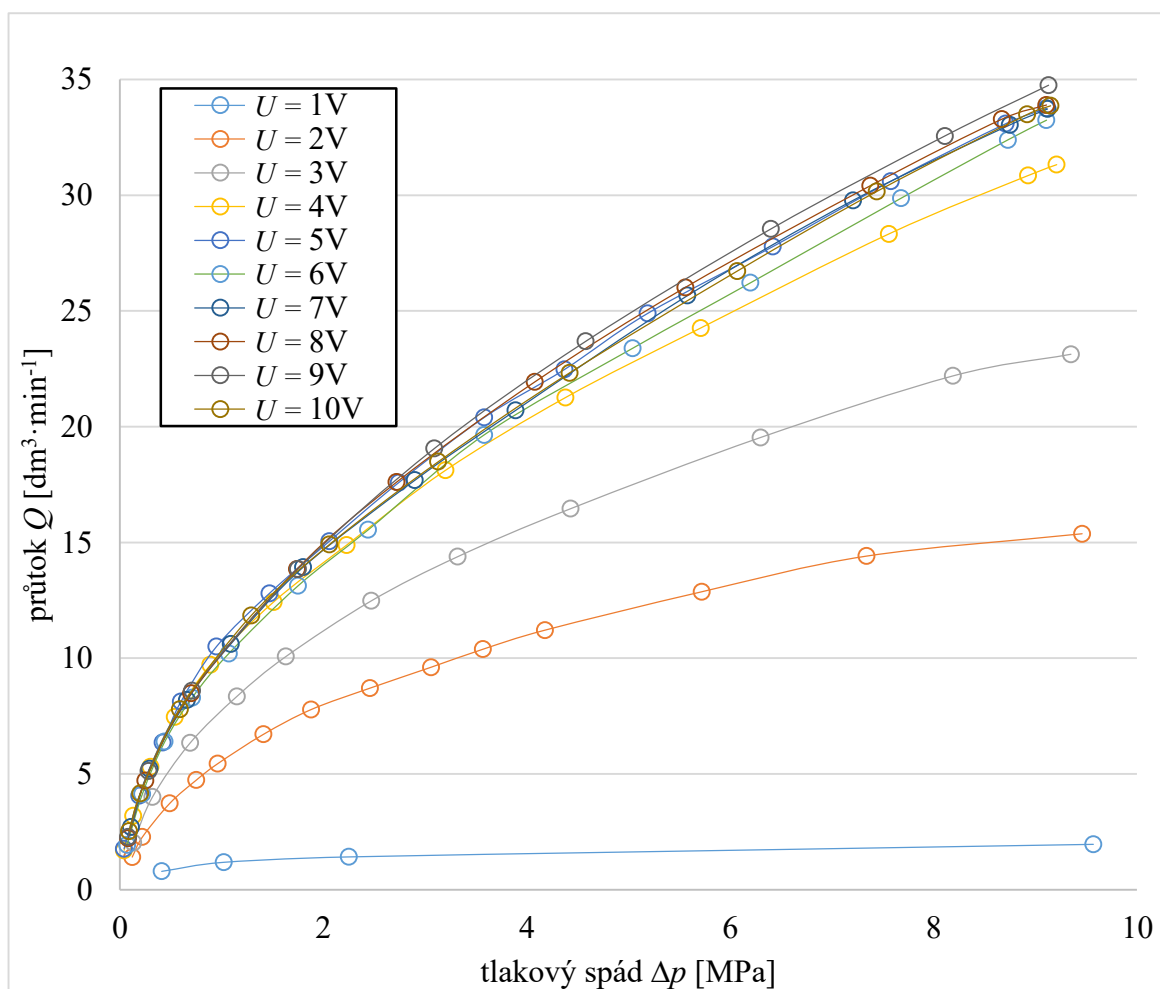
Postup měření pro stanovení hystereze ventilu

1. Na pojistném ventilu se nastaví tlak $p_{PV} = 15 \text{ MPa}$ a průtok hydrogenerátoru je nastaven ručním kolem na $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Na měřicím přístroji se nastaví měření s ukládáním do paměti s intervalem snímání 1 ms.
2. Po spuštění měření je na ventil přiveden řídicí signál z PC, který postupně plynule otevírá ventil. Po otevření ventilu v této poloze chvíli setrvá a poté plynule ventil opět uzavírá.
3. Naměřená data jsou opět z měřicího přístroje převedena do počítače, kde jsou zpracována a následně vyhodnocena.

7. Vyhodnocení naměřených dat

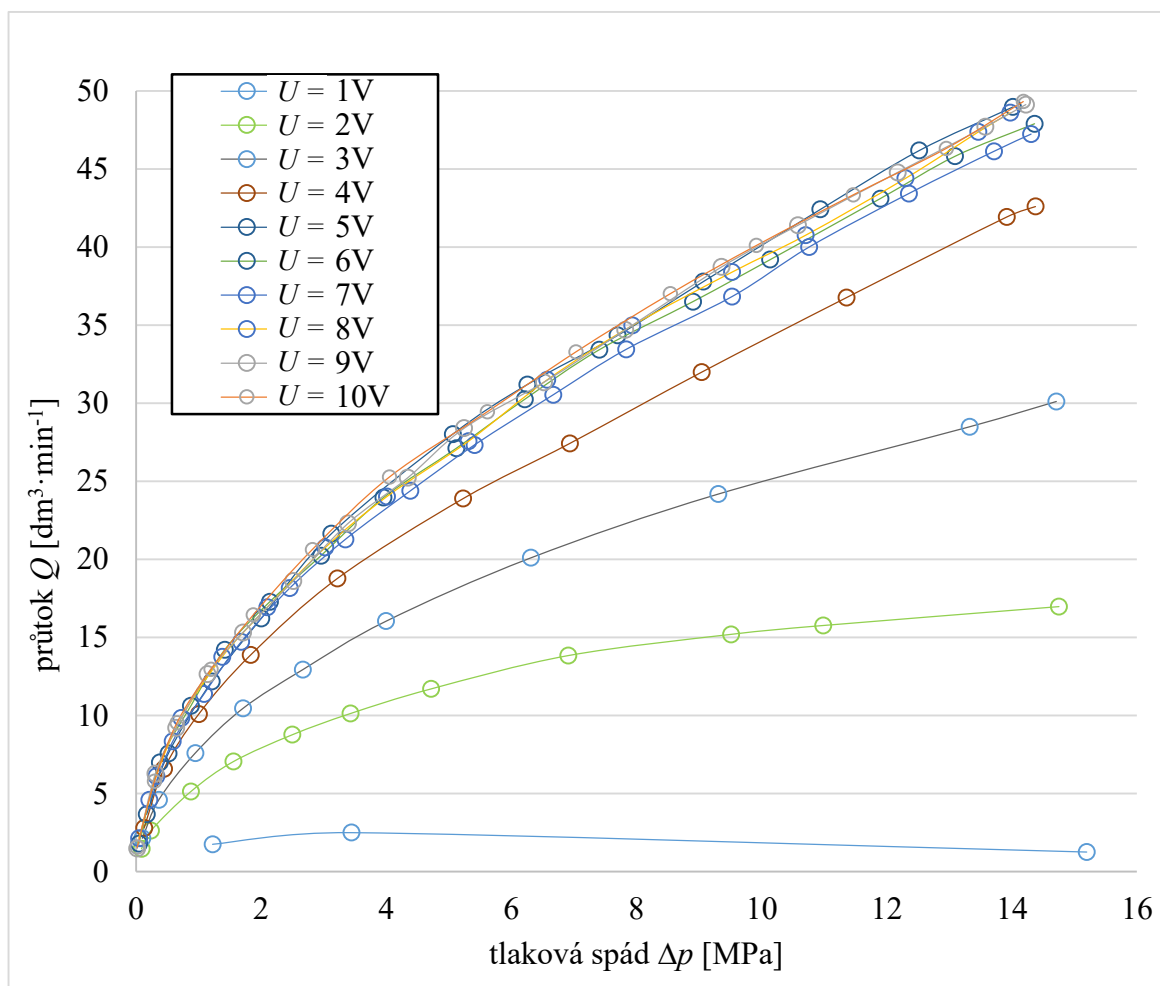
7.1 Statické $Q - \Delta p$ charakteristiky

Na obr. 7.1 je graf naměřených $Q - \Delta p$ charakteristik pro jednotlivá napětí $U = 1 \div 10$ V, přičemž naměřené hodnoty byly odečítány z displeje měřicího přístroje a zaznamenány do předem připravené tabulky. Z grafu lze vyčíst, že $Q - \Delta p$ charakteristiky při napětí $U = 6 \div 10$ V jsou téměř totožné. Z toho vyplývá, že ventil reguluje průtok v rozmezí vstupního napětí $U = 1 \div 5$ V.



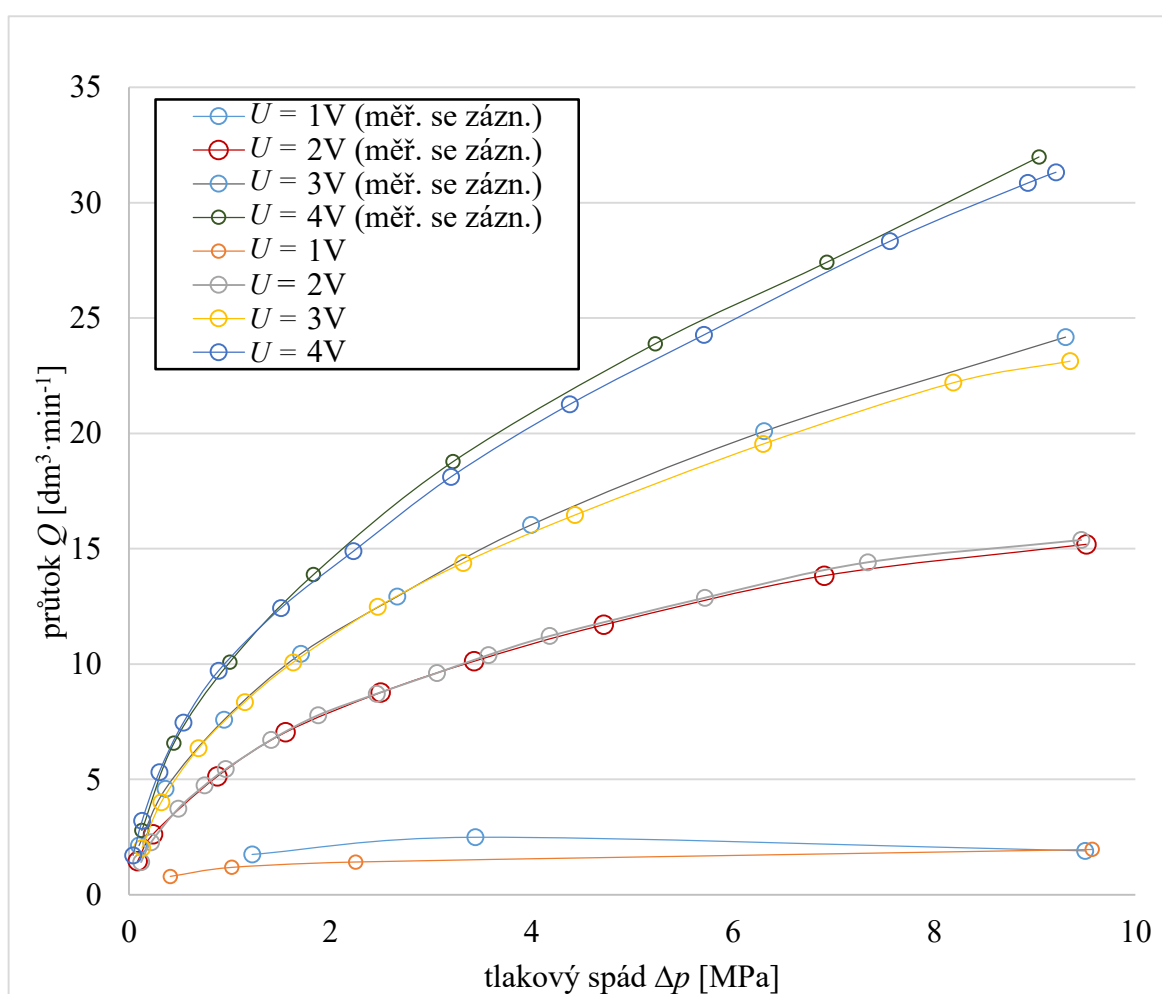
Obr. 7.1 Závislost průtoku Q na tlakovém spádu Δp pro napětí $U = 1 \div 10$ V
(odečítání měřených hodnot z displeje měřicího přístroje)

Na obr 7.2 je graf naměřené $Q - \Delta p$ charakteristiky pro jednotlivá napětí $U = 1 \div 10 \text{ V}$, přičemž naměřené hodnoty byly odečteny ze záznamu měření a následně zpracovány. Z grafu lze říct, že $Q - \Delta p$ charakteristiky jsou téměř stejné jako v předchozím grafu, to potvrzuje, že ventil reguluje průtok v rozmezí vstupního napětí $U = 1 \div 5 \text{ V}$.



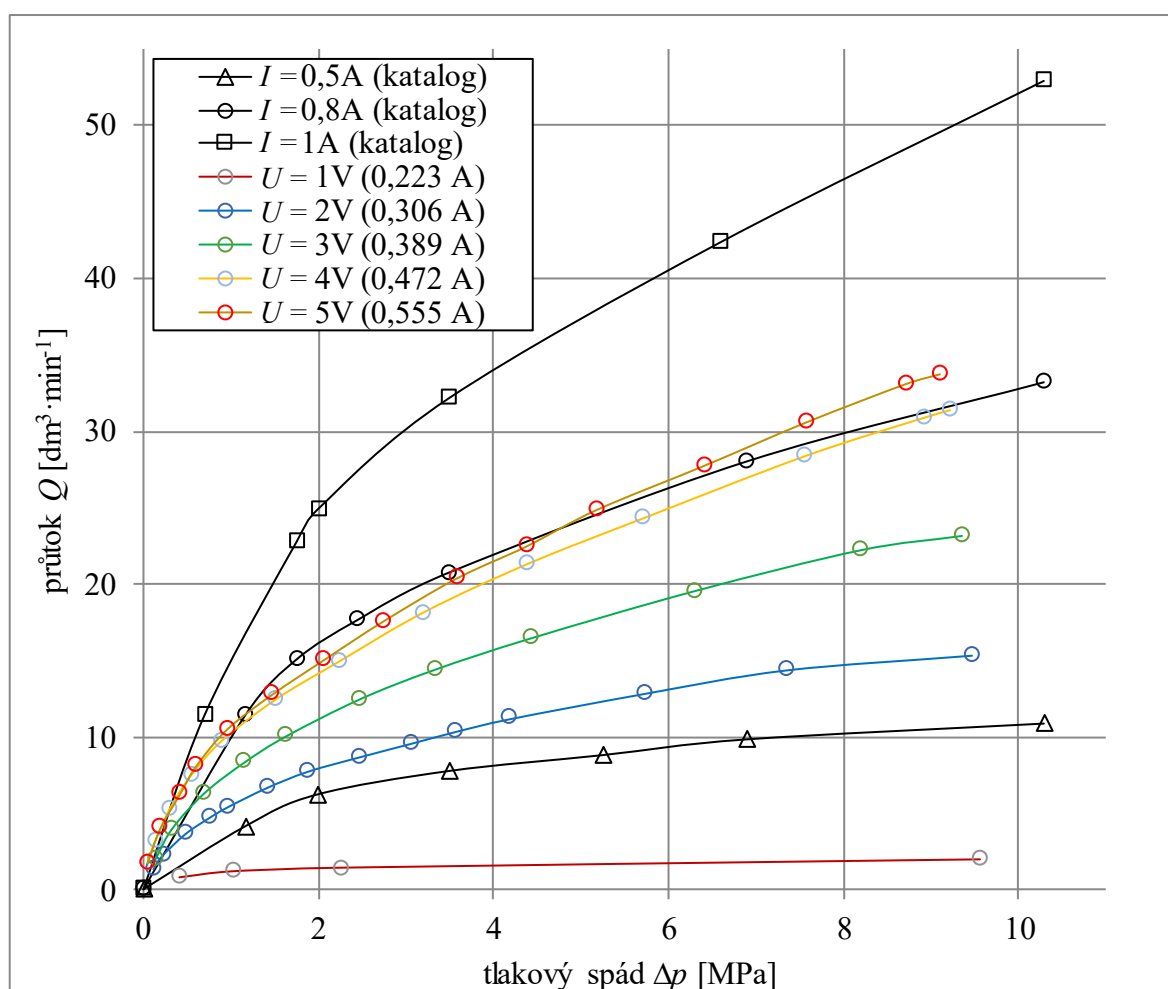
Obr. 7.2 Závislost průtoku Q na tlakovém spádu Δp pro napětí $U = 1 \div 10 \text{ V}$
(odečítání hodnot ze záznamu měření)

Při porovnání naměřených $Q - \Delta p$ charakteristik viz obr. 7.3 je vidět, že při napětí $U = 2 \text{ V}$ jsou charakteristiky téměř totožné. Při vstupním napětí $U = 3 \text{ V}$ a $U = 4 \text{ V}$ jsou charakteristiky při malém tlakovém spádu také totožné, ale s narůstajícím tlakovým spádem se mírně od sebe odchyľují. Tato nepřesnost mohla být způsobena rozdílnou viskozitou oleje při měření, jelikož jednotlivé charakteristiky byly proměřeny při různých teplotách oleje. Teplota oleje při měření s odečítáním naměřených hodnot z displeje měřicího přístroje byla $t_o = 57^\circ\text{C}$ a při měření se záznamem do paměti byla teplota oleje $t_o = 60^\circ\text{C}$. Charakteristiky při napětí $U = 1 \text{ V}$ se výrazněji liší, než charakteristiky při vyšších napětích. Tyto charakteristiky byly proměřeny jen ve třech bodech, tudíž mohlo dojít ke zkreslení daných charakteristik.



Obr. 7.3 Porovnání naměřených $Q - \Delta p$ charakteristik při vstupním napětí $U = 1 \div 4 \text{ V}$

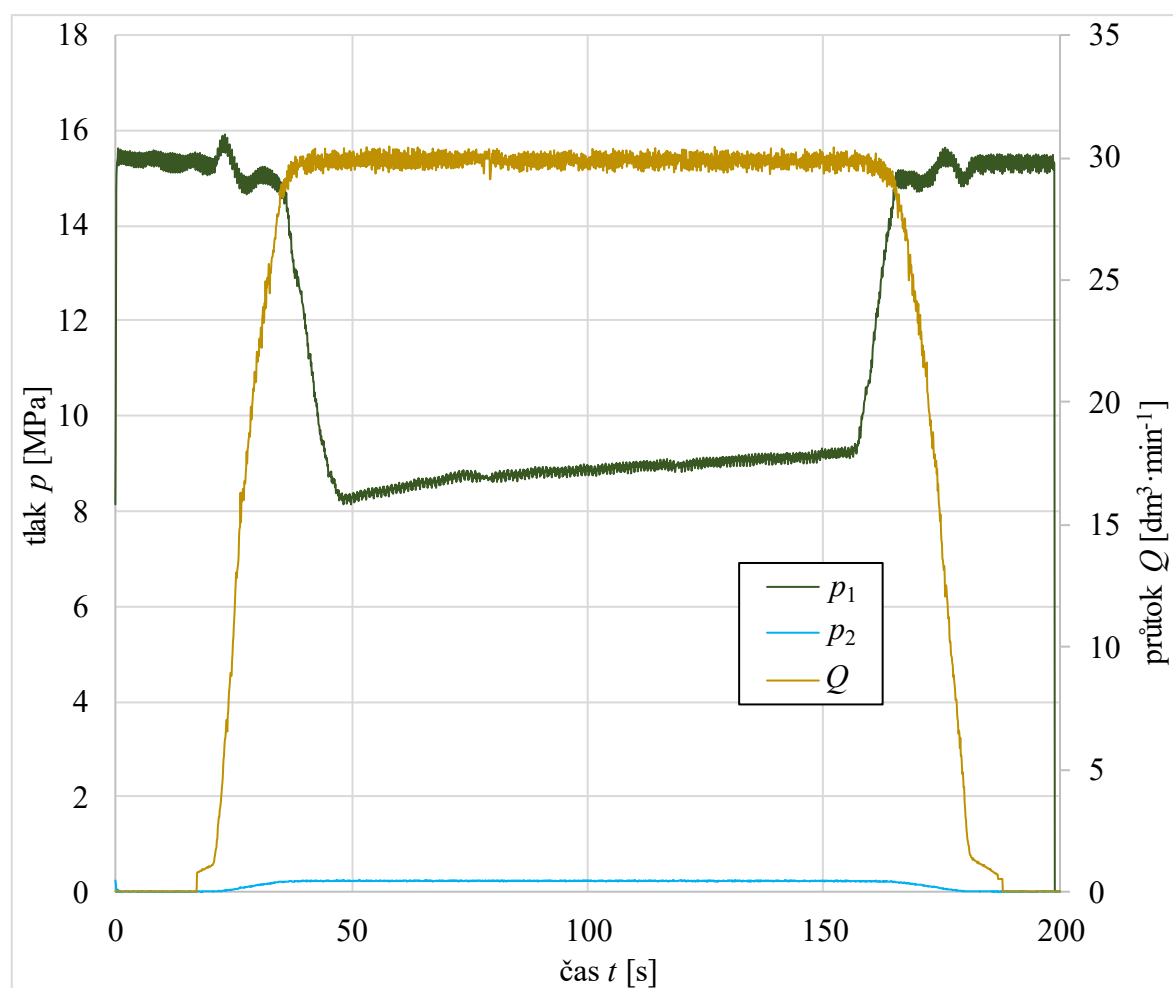
Na obr. 7.4 jsou porovnány jednotlivé naměřené $Q - \Delta p$ charakteristiky s $Q - \Delta p$ charakteristikami, které byly uvedeny v katalogovém listu měřeného ventilu. Měření byla prováděna za různých teplot, tudíž také při jiné viskozitě oleje. Z grafu je zřejmé, že se naměřené $Q - \Delta p$ charakteristiky neshodují s těmi z katalogu. Při porovnání $Q - \Delta p$ charakteristiky se vstupním řídicím signálem $I = 0,5$ A uvedené v katalogu s $Q - \Delta p$ charakteristikou se vstupním řídicím signálem $I = 0,555$ A, (kterému odpovídá vstupní napětí $U = 5$ V), stanovenou měřením, bylo zjištěno, že při stejném průtoku $Q = 10 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ je tlakový spád $Q - \Delta p$ charakteristiky stanovené měřením $\Delta p = 0,9$ MPa a tlakový spád $Q - \Delta p$ charakteristiky uvedené v katalogu je $\Delta p = 6,9$ MPa. Měření bylo provedeno při nižší kinematické viskozitě, než je uvedená kinematická viskozita pro měření v katalogu ventilu, a proto je při stejném průtoku tlakový spád nižší. Kinematická viskozita oleje při měření byla $\nu = 21 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a kinematická viskozita oleje uvedená v katalogu byla $\nu = 32 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Charakteristiky se mohou také lišit z důvodů použití jiné řídicí elektroniky.



Obr. 7.4 Porovnání naměřených $Q - \Delta p$ charakteristik s $Q - \Delta p$ charakteristikami z katalogu

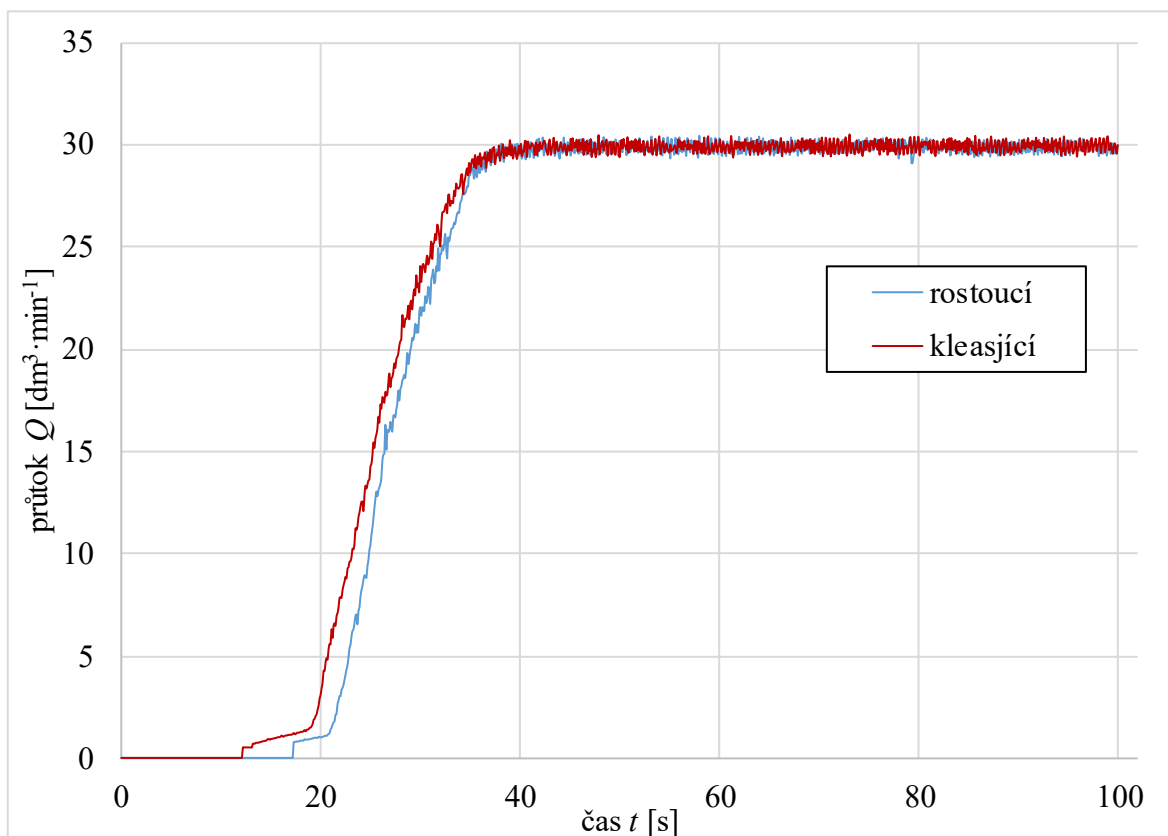
7.2 Stanovení hystereze

Na obr. 7.5 je graf měření pro stanovení hystereze pomocí řídicího signálu viz obr. 7.6 při nominálním průtoku $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, tlaku na pojistném ventilu $p_{pv} = 15 \text{ MPa}$ a teplotě oleje $t_o = 60,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Z grafu jde vidět, že tlak na vstupu p_1 je konstantní až do doby, kdy je na ventil přiveden řídicí signál a ventil se začne otevírat, což způsobí malou pulzaci tlaku p_1 . Při dosažení maximálního průtoku Q , tlak p_1 klesne. Během zavírání ventilu se začne snižovat průtok Q a tlak p_1 se vrací na původní hodnotu. Po uzavření ventilu vznikne u tlaku p_1 opět malá pulzace.



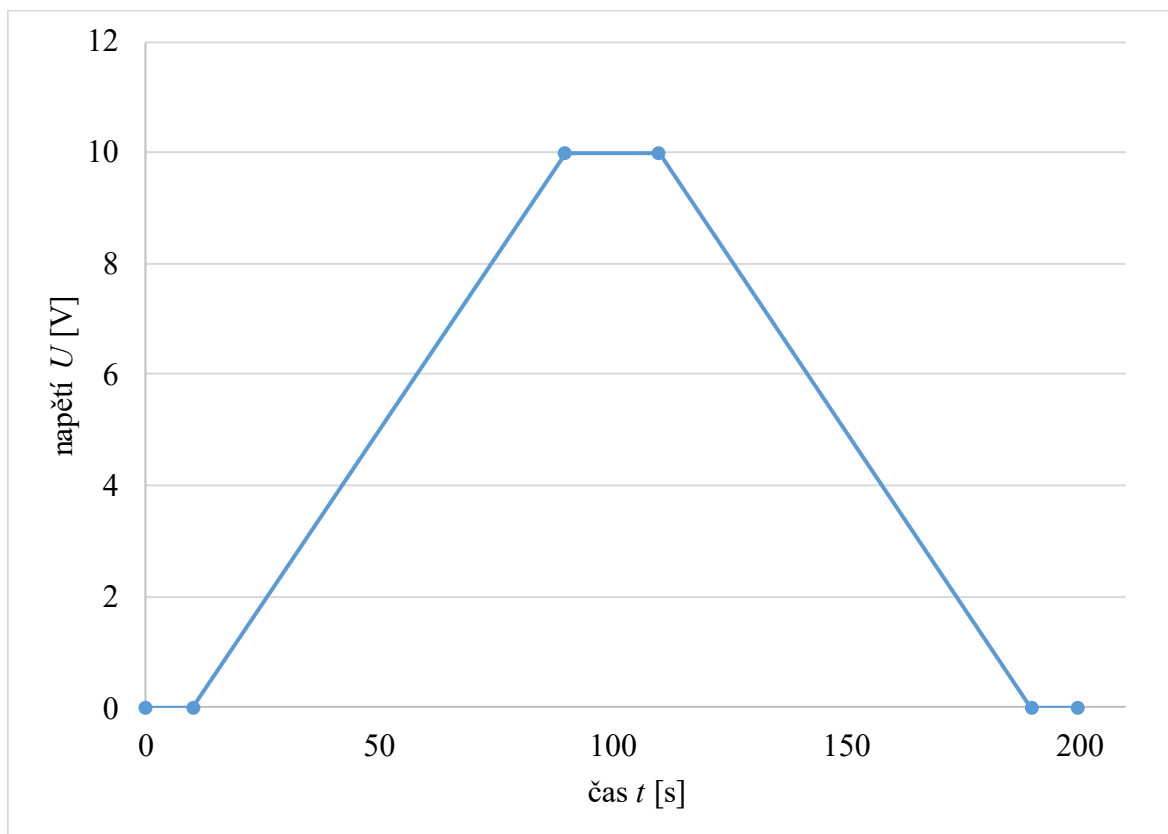
Obr. 7.5 Měření pro stanovení hystereze při nominálním průtoku $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a tlaku na pojistném ventilu $p_{pv} = 15 \text{ MPa}$

Na obr. 7.6 je vidět, že mezi modrou křivkou rostoucího průtoku a červenou křivkou klesajícího průtoku při měření pro stanovení hystereze, je-li nominální průtok $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a tlak na pojistném ventilu $p_{pv} = 15 \text{ MPa}$, vzniká odchylka, i přesto že je ventil otevíráný a zavíraný stejným řídicím signálem.



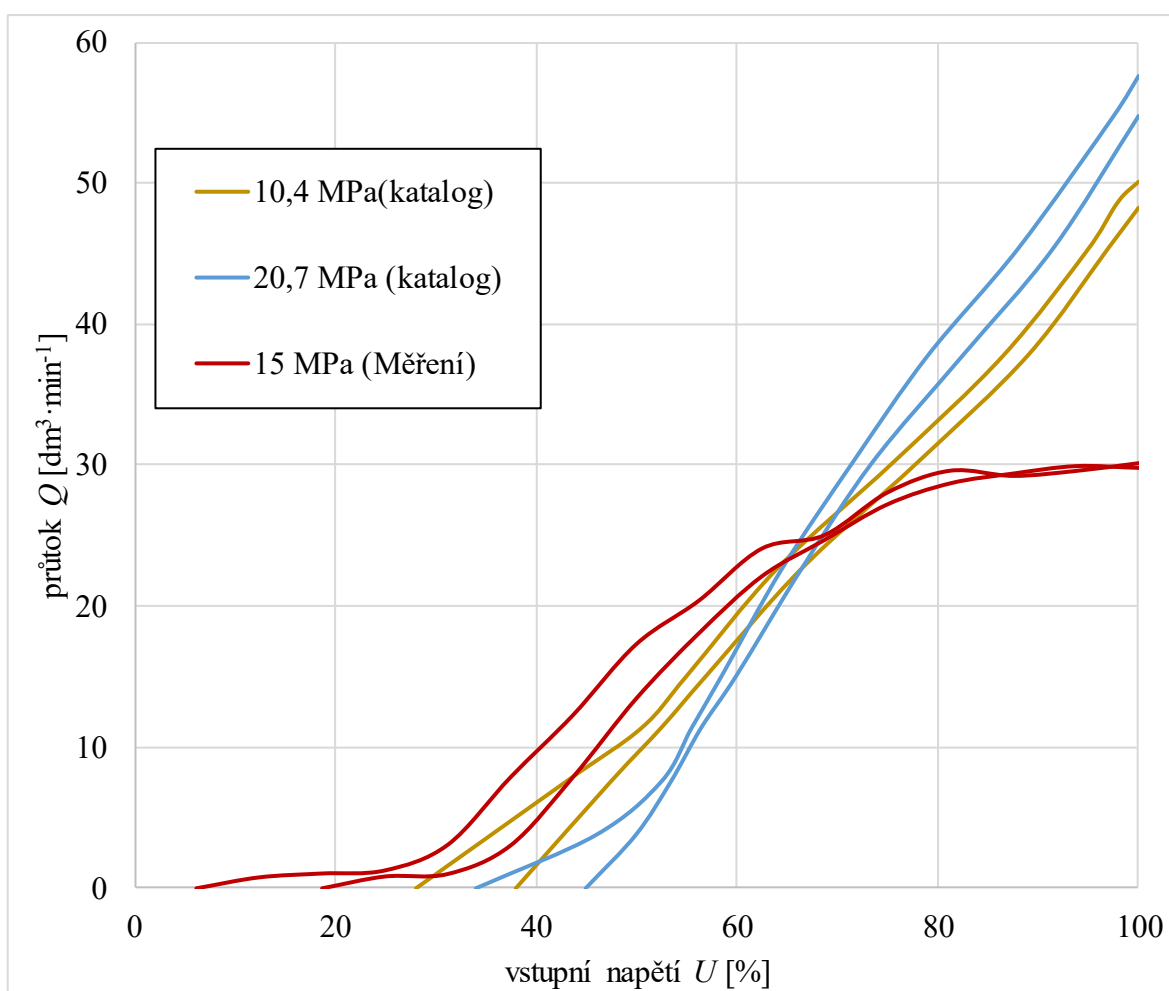
Obr. 7.6 Výchylka hysterezní křivky měření při nominálním průtoku $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a tlaku na pojistném ventilu $p_{PV} = 15 \text{ MPa}$

Na obr. 7.7 je znázorněn tvar řídicího signálu, pomocí kterého byl ovládán ventil při měření pro stanovení hystereze ventilu.



Obr. 7.7 Řídicí signál ventilu při měření pro stanovení hystereze

Na obr. 7.8 je porovnána stanovená hystereze naměřená při nominálním průtoku $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a tlaku na pojistném ventilu $p_{pv} = 15 \text{ MPa}$ s hysterezemi uvedenými v katalogovém listu měřeného ventilu pro tlakové spády $\Delta p = 10,4 \text{ MPa}$ a $20,7 \text{ MPa}$. Stanovená hystereze z měření je obdobná jako hystereze, které byly uvedeny v katalogu ventilu. Průběh stanovené hystereze je ovlivněn tím, že při měření nebyl udržován konstantní tlakový spád Δp na ventilu, podobně jako v případě měření, které je uvedeno v katalogu. Dále může být ovlivněno jiným nastavením jednotlivých parametrů na elektronice ventilu. Při měření byla rozdílná kinematická viskozita oleje. Měření pro stanovení hystereze bylo provedeno při teplotě oleje $t_o = 60,3 \text{ }^\circ\text{C}$, při které má kinematickou viskozitu $\nu = 19 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. V katalogu byla uvedena kinematická viskozita oleje při měření $\nu = 32 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 7.8 Porovnání naměřené hystereze s hysterezemi uvedenými v katalogu

8. Závěr

Bakalářská práce se zabývá stanovením a vyhodnocováním statických charakteristik proporcionálního sedlového ventilu SP08 – 20A od firmy Hydra Force.

V úvodu bakalářské práce byla zpracována literární rešerše proporcionálních ventilů, proporcionální řídicí techniky a sedlových ventilů. Pro stanovení statických charakteristik byl navržen a poté v laboratoři sestaven hydraulický obvod. Pro správné navržení hydraulického obvodu bylo potřeba si nastudovat problematiku měření statických charakteristik na ventilech. Pro měření na ventilu byly vybrány vhodné snímače tlaků, průtoku a teploty, které byly do obvodu připojeny pomocí MINIMESS přípojek. Jednotlivé snímače byly poté připojeny k měřicímu přístroji a nastaveny jejich parametry. Všechny měření byly provedeny na měřicím přístroji Hydrotechnik MS 5060+. Na řídicí elektronice, pomocí které byl ventil ovládán, byly nastaveny jednotlivé parametry, kterými byly horní offset, dolní offset a frekvence dynamického mazání. Na ventilu byly provedeny měření $Q - \Delta p$ charakteristiky při různých vstupních napětích a měření pro stanovení hystereze ventilu.

Statická $Q - \Delta p$ charakteristika byla proměřena dvěma způsoby. Před začátkem obou způsobů měření bylo na řídicí elektronice nastaveno napětí $U = 1 \text{ V}$ a na hydrogenerátoru minimální průtok. Při prvním způsobu měření se ručním kolem na hydrogenerátoru postupně zvyšoval průtok. Při každém zvýšení průtoku byly z displeje měřicího přístroje zapisovány hodnoty tlaků, průtoku a teploty do předem připravených tabulek. Při druhém způsobu měření bylo na měřicím přístroji nastaveno měření s ukládáním do paměti s intervalem snímání 1 ms. Po spuštění měření se opět postupně zvyšoval průtok, ale tentokrát naměřené hodnoty byly zaznamenávány do paměti měřicího přístroje. Oba způsoby měření byly provedeny pro napětí $U = 1 \div 10 \text{ V}$. Po každém měření bylo napětí zvýšeno o 1 V. Naměřená data z obou měření byla zpracována graficky a následně porovnána. Při grafickém zpracování charakteristik bylo zjištěno, že ventil reguluje průtok v rozmezí vstupního napětí $U = 1 \div 5 \text{ V}$, jelikož při větším napětí jsou charakteristiky téměř totožné. Z toho vyplývá, že při napětí $U = 5 \text{ V}$ je už ventil plně otevřený. Při porovnání charakteristik naměřených různými způsoby bylo potvrzeno, že měření $Q - \Delta p$ charakteristik bylo provedeno správně, jelikož jednotlivé charakteristiky naměřené při stejném napětí mají stejný trend a liší se od sebe jen nepatrně, což může být způsobeno tím, že jednotlivá měření byla provedena při různých teplotách, tudíž taky při jiné viskozitě. U měření při napětí $U = 1 \text{ V}$ mohlo dojít ke zkreslení charakteristiky. Ke zkreslení charakteristiky mohlo dojít z toho důvodu, že byla

proměřena jen ve třech bodech. Dále bylo provedeno porovnání naměřených $Q - \Delta p$ charakteristik pro napětí $U = 1 \div 5 \text{ V}$ s $Q - \Delta p$ charakteristikami uvedenými v katalogu. Porovnané $Q - \Delta p$ charakteristiky se neshodují. Porovnáním $Q - \Delta p$ charakteristiky se vstupním řídicím signálem $I = 0,5 \text{ A}$ uvedená v katalogu s $Q - \Delta p$ charakteristikou se vstupním řídicím signálem $I = 0,555 \text{ A}$, (kterému odpovídá vstupní napětí $U = 5 \text{ V}$), stanovenou měřením, bylo zjištěno, že při stejném průtoku Q je tlakový spád Δp u charakteristiky $Q - \Delta p$ stanovené měřením výrazně nižší než tlakový spád Δp u charakteristiky $Q - \Delta p$ uvedené v katalogu. Měření bylo provedeno při nižší kinematické viskozitě, než je uvedená pro měření v katalogu ventilu, a z toho důvodu je při stejném průtoku Q tlakový spád Δp nižší. Charakteristiky mohou být ovlivněny použitím jiné elektroniky pro řízení ventilu.

Měření pro stanovení hystereze bylo provedeno při nominální průtoku $Q = 30 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a tlaku na pojistném ventilu $p_{pv} = 15 \text{ MPa}$. Před měřením byl nejprve při naplno otevřeném ventilu nastaven maximální průtok na ventilu a tlak na pojistném ventilu. Poté bylo na měřicím přístroji nastaveno měření s ukládáním do paměti s intervalem snímání 1 ms . Po spuštění měření byl ventil řízený naprogramovaným řídicím signálem, který ventil plynule otevřel a následně plynule uzavřel. Celé měření trvalo přesně 200 sekund. Při měření byly zaznamenávány hodnoty tlaku před ventilem p_1 , tlaku za ventilem p_2 a průtoku Q . Naměřená data měření byla graficky zpracována a vyhodnocena. Při porovnání stanovené hystereze z měření s hysterezemi uvedenými v katalogu bylo zjištěno, že velikost hystereze je obdobná. Průběh stanovené hystereze je ovlivněn tím, že při měření nebyl udržován konstantní tlakový spád Δp na ventilu, podobně jako v případě měření, které je uvedeno v katalogu. Dále může být ovlivněno jiným nastavením jednotlivých parametrů na elektronice ventilu. Při měření byla rozdílná kinematická viskozita oleje.

9. Seznam použité literatury

- [1] PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987, 04-255-87, 623 s.
- [2] DÖRR, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional - und Servoventil - Technik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.
- [3] BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanismy*. Hydropneutech s.r.o., Žilina 2012, 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.
- [4] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [5] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 159 s. ISBN 80-030-0308-3.
- [6] *Hydraforce.com* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.hydraforce.com/proport/Prop_html/2-009-1_SP08-20A/2-009-1_SP08-20A.htm
- [7] *Valveproducts.net* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://valveproducts.net/poppet-valve/what-is-a-poppet-valve>
- [8] *Oemautomatic.cz* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Tlak_a_prutok/Ventily/Proporcionalni_ventily/Pro_rizeni_tlaku/Asco_Vseobecne_informace_o_proporcionalnich_ventilech/2350523-310929.html
- [9] *Hydraulicspneumatics.com* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://hydraulicspneumatics.com/other-technologies/chapter-10-directional-control-valves-part-3>
- [10] *Pegas-gonda.cz* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.pegasgonda.cz/pily_data/SERVIS/CZ_HYDROCENTRALA_VSEOBECNE_POKYNY.pdf

- [11] *Pelikan-z.cz* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z:
<http://www.pelikan-z.cz/images/pdf/gar-2.pdf>
- [12] *Argo-hytos.com* [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z:
http://www.argohytos.com/fileadmin/user_upload/products/valves/downloads/Katalog_EL6hc9150_CZ_03.pdf
- [13] *Hydrotechnik.com* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z:
<http://www.hydrotechnik.com/>